

*А.А. АВРАМЕНКО*, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ",  
*Н.Н. СИРЕНКО*, канд. техн. наук, проф. НТУ "ХПИ",  
*В.В. СКОПЕНКО*, соискатель, НТУ "ХПИ"

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ВИХРЕТОКОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ С ПОПЕРЕЧНЫМ ОДНОРОДНЫМ ПОЛЕМ**

У роботі наведено результати експериментальних досліджень з виявлення дефектів при використанні вихорострумового перетворювача з однорідним поперечним полем. Показана можливість визначення глибини і ширини дефекту при сумісному вимірюванні амплітуди і фази вихідного сигналу.

In the work the results of experimental researches on the discovery of defects with the use of eddy current converter with the homogeneous transversal field are represented. Possibility of determination of depth and width of defect at the joint measuring amplitudes and phases of output signal is shown.

**Введение.** На сегодняшний день в вихретоковой дефектоскопии широкое распространение получили накладные электромагнитные преобразователи [1]. Известные накладные преобразователи, как правило, совмещают функции создания электромагнитного поля и измерения параметров выходного сигнала. Магнитное поле внутри и снаружи таких датчиков даже в отсутствие изделия резко неоднородно, что значительно усложняет анализ поведения выходных параметров от изменения характеристик объекта контроля. Работа с такими преобразователями [2, 3] требует проведения довольно трудоемких операций отстройки от мешающих факторов, среди которых в качестве основного является эффект воздействия воздушного зазора между датчиком и контролируемым изделием. С помощью накладных вихретоковых преобразователей (ВТП) контролируют локальные, усредненные значения электрофизических параметров без определения направления градиента их изменения.

**Постановка задачи.** Оказывается, если использовать однородное электромагнитное поле с разделением функций создания электромагнитного поля и измерения характеристик изделий, то можно определять дефекты с определенным направлением их развития.

Одним из главных элементов таких устройств является источник однородного магнитного поля. В качестве источников такого поля могут быть длинные проходные преобразователи, внутри которых магнитное поле направлено вдоль оси изделия, а вихревые токи замыкаются по кольцу

поперек изделия, т.е. в этом случае линейные дефекты, которые по направлению совпадают с вихревыми токами, практически обнаружить не удается.

**Основная часть.** Для решения задачи бесконтактного контроля дефектов, расположенных в плоскости перпендикулярной к оси цилиндрического изделия, необходимо выбрать преобразователи, возбуждающее поле которых направлено перпендикулярно образующей цилиндрического изделия [4]. В этом случае возможно использование преобразователя в виде катушек Гельмгольца, которые создают переменное магнитное поле перпендикулярно изделию и которые наиболее полно удовлетворяют требованиям однородности магнитного поля, свободного доступа к объекту контроля, что позволяет контролировать весьма протяженные изделия (проволока, трубы и др.).

Таким образом, преобразователь на основе сочетания катушек Гельмгольца с поперечным относительно образца однородным полем и измерительными катушками, плоскость которых перпендикулярна возбуждающему полю, достаточно хорошо подходит при построении устройств, реализующих методы дефектоскопии поперечных трещин. С точки зрения увеличения чувствительности к ответной реакции изделия с дефектом на возбуждающее поле и минимизации погрешностей для амплитудного и фазового метода контроля, необходимо применять дифференциальную схему включения измерительных обмоток ВТП.

На рис. 1 представлена функциональная схема установки с таким преобразователем, для которой реализованы амплитудный и фазовый метод обнаружения дефектов в контролируемом образце.

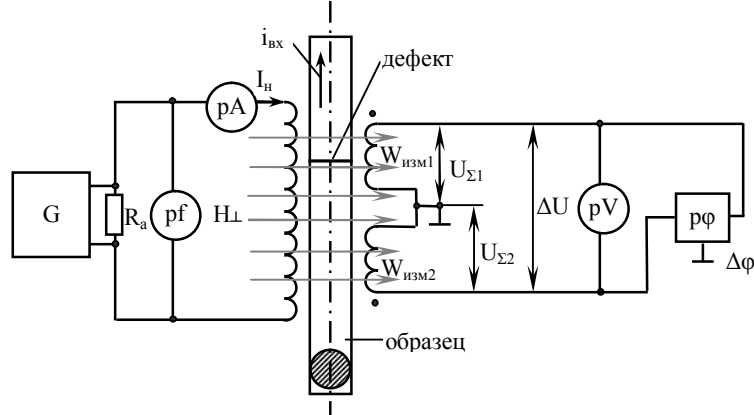


Рис. 1. Функциональная схема установки для определения дефектов в цилиндрических образцах.

Схема содержит генератор синусоидального сигнала G, который запитывает катушки Гельмгольца намагничивающим стабильным током  $I_n$ .

значения которого контролируется амперметром pA. Частота намагничивающего тока определяется по частотомеру pf. Для согласования нагрузки при различных режимах работы установки используется аттенуатор  $R_a$ . Две идентичные измерительные катушки  $W_{изм1} = W_{изм2} = 1500$  витков включены последовательно-встречно и размещены как можно ближе к объекту исследования. На выходе измерительных обмоток получаем разностное напряжение  $\Delta U$  ( $\Delta U = U_{\Sigma 1} - U_{\Sigma 2}$ ), которое в отсутствие дефектов в образце близко к нулю. Это напряжение контролируется вольтметром pV. Измеритель разности фаз рф включен таким образом, чтобы измерять разность фаз между напряжениями  $U_{\Sigma 1}$  и  $U_{\Sigma 2}$  и если в образце нет дефектов, то этот угол  $\Delta \varphi \approx 0$ .

Наличие дефекта в плоскости перпендикулярной оси цилиндрического образца можно условно считать как изменение его радиуса. Из работы [5] видно, как влияет геометрический форм-фактор или радиус образца на выходное напряжение и фазу выходного сигнала вихретокового преобразователя, включенного по дифференциальной схеме. При этом

$$\dot{K} = \lambda \frac{\Delta \dot{U}}{\dot{U}_{\Sigma}}, \quad (1)$$

где  $\dot{K}$  – комплексный нормированный магнитный поток;  $\lambda$  – геометрический форм-фактор.

Выражение для  $\lambda$  в случае круглой измерительной катушки [5]

$$\lambda = \frac{1}{2 \left( \frac{R}{a_2} \right)^2 \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{a_2}{a_1} \right)^2}} \right]}, \quad (2)$$

где  $R$  – радиус образца;  $a_2$  – средний радиус измерительной катушки;  $a_1$  – расстояние от центра изделия до середины измерительной катушки.

Следует заметить, что модуль и фаза нормированного потока [3] однозначно связаны с обобщенным параметром  $x$ , выражение для которого имеет вид

$$x = R \sqrt{\mu_0 \sigma 2 \pi f}, \quad (3)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная;  $\sigma$  – удельная электрическая проводимость образца;  $f$  – частота намагничивающего тока.

В эксперименте использовались цилиндрические образцы из алюминиевого сплава ( $\sigma \approx 18$  МСм/м), у которых искусственно выполнены дефекты с различными фиксированными глубинами  $h$  и величиной раскрытия  $b$ . При проведении эксперимента, образец плавно перемещался вдоль оси

таким образом, чтобы можно было зафиксировать различные значения напряжения и фазы сигнала измерительных катушек при попадании дефекта в зону их контроля. Результаты эксперимента занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента при  $I_n=0,2$  А;  $R_a=150$  Ом.

№	Параметры дефекта	$\Delta U_0=1,5\text{mV}$ $f=965\text{Гц}; U_z=26\text{mV}$		$\Delta U_0=2,4\text{mV}$ $f=1565\text{Гц}; U_z=36,8\text{mV}$		$\Delta U_0=9,0\text{mV}$ $f=2517\text{Гц}; U_z=52\text{mV}$	
		$\Delta U$ , mV	$\Delta \phi$ , град	$\Delta U$ , mV	$\Delta \phi$ , град	$\Delta U$ , mV	$\Delta \phi$ , град
1	$h=0,5$ мм $b=0,4$ мм	1,6	0,14	2,55	-	-	-
2	$h=0,5$ мм $b=0,8$ мм	1,62	0,22	2,6	0,12	-	0,14
3	$h=0,5$ мм $b=1,3$ мм	1,66	0,36	2,68	0,43	-	0,23
4	$h=1,0$ мм $b=0,4$ мм	1,7	0,36	2,65	0,43	-	0,27
5	$h=1,0$ мм $b=0,8$ мм	1,75	0,45	2,72	0,74	-	0,50
6	$h=1,0$ мм $b=1,3$ мм	1,9	0,51	2,8	0,86	9,1	0,78
7	$h=2,0$ мм $b=0,4$ мм	2,15	0,94	3,3	1,46	9,2	0,82
8	$h=2,0$ мм $b=0,8$ мм	2,2	1,04	3,36	1,63	9,2	0,86
9	$h=2,0$ мм $b=1,3$ мм	2,4	1,14	3,9	2,43	9,5	1,06

**Закключение.** В результате анализа экспериментальных данных можно сделать вывод, что для данного типа ВТП с поперечным однородным полем возможно достаточно надежное определение дефектов определенной ориентации. Причем, измеряя одновременно два параметра выходного сигнала (амплитуду и фазу) преобразователя с образцом заданного диаметра и известной  $\sigma$  существует возможность раздельного определения как глубины, так и ширины протяженного дефекта.

**Список литературы:** 1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.2: В 2 кн.-М.: Машиностроение, 2003.-688 с. 2. Герасимов В.Г., Клюев В.В., Шатерников В.Е. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с. 3. Дорофеев А.Л., Никитин А.И., Рубин А.Л. Индукционная толщинометрия. – М.: Энергия, 1978. – 185 с. 4. Измерение удельной электрической проводимости цилиндрических изделий. / А.А. Авраменко, В.А. Друнов, В.П. Себко, В.И. Тюпа. – Дефектоскопия, 1984, № 6, с. 79-84. 5. Бесконтактное измерение удельной электрической проводимости цилиндрических изделий в поперечном переменном магнитном поле / А.А. Авраменко, В.П. Себко, В.И. Тюпа, В.А Друнов. – Метрология, 1983, №10, с. 48-54.